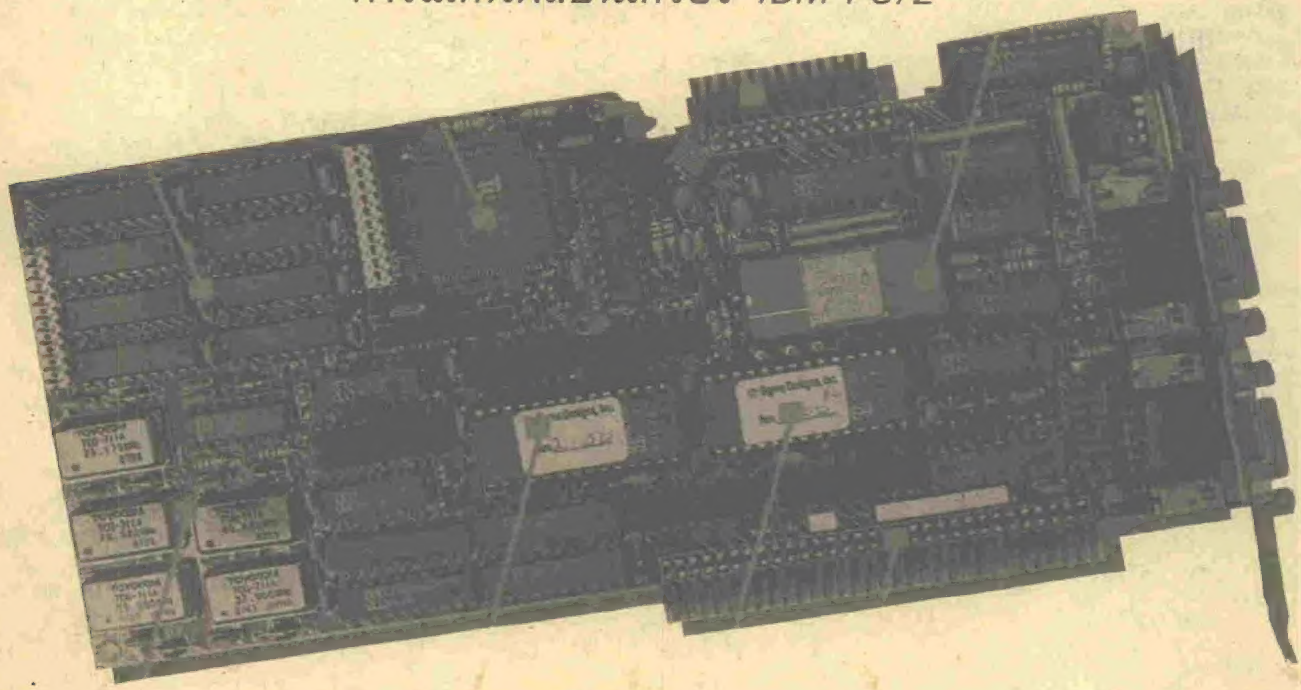
"แสดงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ในระดับรีจิสเตอร์ของการ์ดแสดงผล VGA ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นมาตรฐานของการแสดงผลบนเครื่อง IBM PS/2"



เปิดโฉม VGA ฮาร์ดแวร์

ถวัลย์ ตั้งลิตานนท์

เทคโนโลยีการแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลนับว่ามีการพัฒนาขึ้นมามากทีเดียว จากเดิมซึ่งเป็นการแสดงผลบนจอโมโนโครมที่ใช้การ์ดโมโนโครมอะแดปเตอร์ หรือการ์ดเฮอร์คิวลิส แล้วพัฒนาต่อมาเป็นการแสดงผลบนจอสีที่เรียกว่า Color Graphic Adapter (CGA) และ Enhanced Graphic Adapter (EGA) ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นระบบแสดงผลที่เป็นสัญญาณดิจิตอล

นั่นก็คือ สัญญาณที่ออกจากการ์ดแสดงผลที่จะไปควบคุมจอภาพนั้นเป็นสัญญาณดิจิตอล ในระบบดิจิตอลนี้การ์ด EGA จะมีความละเอียดสูงสุดคือมีจำนวนจุด (pixel) เท่ากับ 640×350 จุด และสามารถแสดงสีได้ 16 สีพร้อมกับจากจำนวนสีทั้งหมด 64 สี ต่อมาไอบีเอ็มได้พัฒนาระบบแสดงผลแบบใหม่ขึ้นมาอีกที่เรียกว่า Video Graphic Array (VGA) ซึ่งใช้สัญญาณอะนาลอกควบคุมจอแสดงผล ทำให้แสดงจำนวนสีได้

มากขึ้นเพราะว่าคอมบิเนชันของสัญญาณอะนาลอกมีมากกว่าสัญญาณดิจิตอล ระบบ VGA จึงสามารถแสดงภาพสีได้ถึง 256 สีพร้อมกันจากจำนวนสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 256×1024 สี และยังมีความละเอียดสูงขึ้นถึง 640×480 จุด ทำให้สามารถแสดงภาพเสมือนจริงได้ ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการใช้คอมพิวเตอร์กับงานด้านต่าง ๆ อาทิเช่น งานออกแบบทางด้านอุตสาหกรรม (CAD/CAM) งานทางการแพทย์ งานทางด้านการประมวลผลของรูปภาพ (Image Processing) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ได้อย่างมากมาย เนื่องจากข้อดีของระบบแสดงผลแบบ VGA นี้เองไอบีเอ็มจึงรวมการ์ดแสดงผลระบบ VGA ลงบนเมนบอร์ดของเครื่อง IBM PS/2 เช่น PS/2 model 50,60,70 จึงถือได้ว่าเป็นมาตรฐานการแสดงผลของเครื่อง IBM PS/2

ในปัจจุบันมีผู้ผลิตรายอื่นที่ทำการ์ด VGA ให้มีความละเอียดสูงกว่า VGA ของไอบีเอ็ม โดยเรียกว่า super VGA ที่มีความละเอียดถึง 800×600 จุด หรือ 1024×768 จุด ซึ่งต้องใช้กับจอแสดงผลแบบมัลติซิงค์ หรือจอ VGA ความละเอียดสูง แนวโน้มของการ์ดแสดงผล VGA นับวันจะถูกลงเรื่อย ๆ ทำให้มีผู้หันมานิยมใช้กันมากขึ้น จึงเป็นสิ่งที่เราน่าจะมาศึกษากันดูว่า โครงสร้าง คุณลักษณะ และความสามารถของการ์ดแสดงผล VGA มีอะไรบ้าง

โครงสร้างของการ์ด VGA

ระบบแสดงผลแบบ VGA หรือที่เรารู้จักดีกว่าการ์ด VGA นั้นประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 3 ประการด้วยกัน คือ

1. หน่วยความจำของส่วนแสดงผล (video memory)
2. ชิพ VGA
3. ตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอะนาลอก (Video DAC)

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของการ์ด VGA ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หน่วยความจำแสดงผล

หน่วยความจำของการ์ด VGA ตามมาตรฐานของไอบีเอ็มจะมีจำนวน 256 กิโลไบต์ เป็นไดนามิกแรมที่ถูกแบ่งออกเป็น 4 plane ข้อมูลที่ถูกใช้แสดงผลจะถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำนี้ ซึ่งรูปแบบของการเก็บจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับโหมดของการแสดงผล ตัวอย่างเช่น การแสดงผลในเท็กซ์โหมด (Text Mode) เพลน 0 ซึ่งเป็นหน่วยความจำแอดเดรสคู่จะเก็บข้อมูลที่เป็นรหัสแอสกี หน่วยความจำแอดเดรสคี่ซึ่งอยู่ในเพลน 1 จะเก็บค่าแอตทริบิวต์ ส่วนหน่วยความจำเพลน 2 จะสำรองไว้ใช้สำหรับเก็บค่าคาแรกเตอร์เยนเนอเรเตอร์ หน่วยความจำเพลน 3 จะไม่ถูกใช้ ส่วนในโหมดกราฟิกก็จะแตกต่างกันไป ในปัจจุบันการ์ด VGA ที่ถูกผลิตขึ้น มักจะมีความละเอียดในการแสดงผลสูงกว่ามาตรฐานของไอบีเอ็ม ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้หน่วยความจำมากขึ้นด้วย เพื่อเก็บข้อมูลภาพที่มากขึ้นนั่นเอง

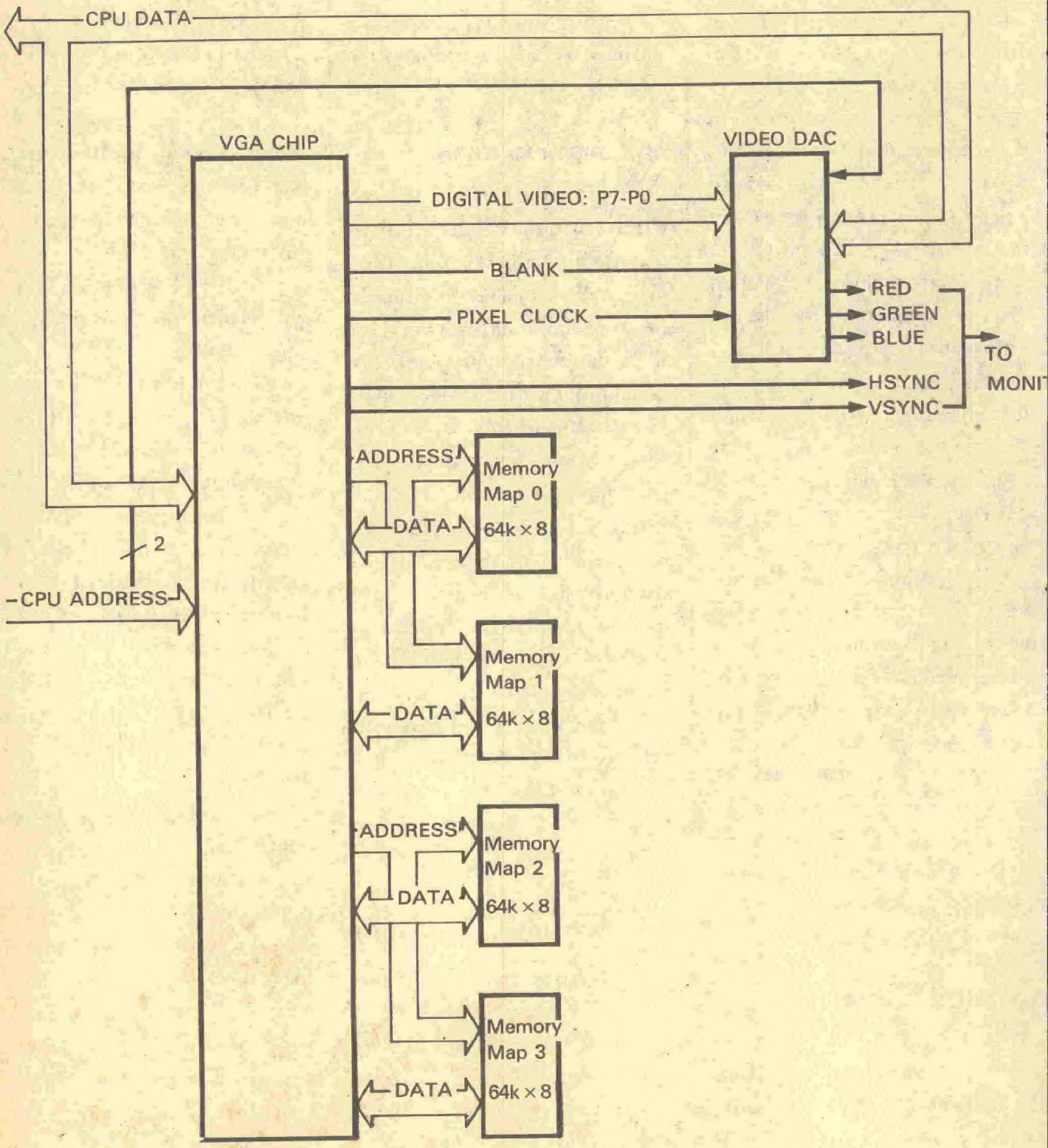
หน่วยความจำในเท็กซ์โหมด

การแสดงผลในเท็กซ์โหมด (Text Mode) มีความซับซ้อนน้อยกว่าการแสดงผลในโหมดกราฟิกมาก เพราะว่าเป็นการจัดการกับรหัสแอสกี มิใช่จัดการกับจุดใดจุดหนึ่งบนจอภาพ มาตรฐานของเท็กซ์โหมดแบ่งเป็น 25 บรรทัด 40 คอลัมน์ หรือ 80 คอลัมน์ต่อบรรทัด ในกรณีที่เป็น 80 คอลัมน์ต่อบรรทัด ใน 1 จอภาพสามารถแสดงตัวอักขระได้ทั้งสิ้น 2,000 ตัว แต่การแสดงของตัวอักขระ 1 ตัว ต้องใช้หน่วยความจำ 2 ไบต์ ดังนั้นใน 1 จอภาพจะต้องใช้หน่วยความจำทั้งสิ้น 4,000 ไบต์ แต่หน่วยความจำแสดงผลแบ่งออกเป็นเพจ ๆ ละ 4096 ไบต์ ซึ่งจะเหลือที่ว่าง 96 ไบต์ที่ไม่ถูกใช้

รูปที่ 2 (ก) แสดงรูปแบบของหน่วยความจำแสดงผลในเท็กซ์โหมด และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอดเดรสของหน่วยความจำกับการจัดหน่วยความจำแบบเพลน

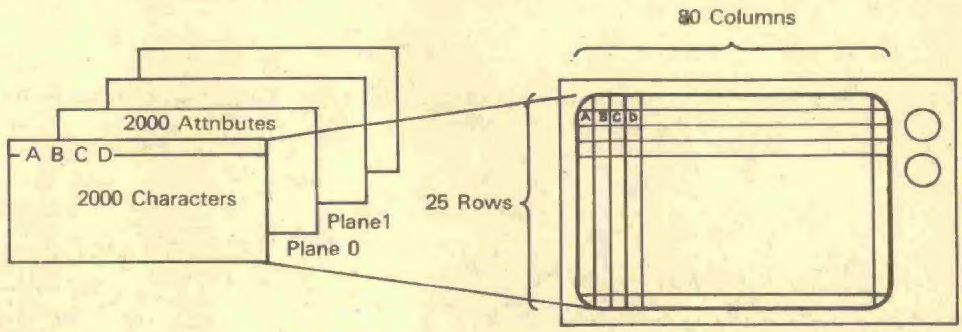
ในการเปลี่ยนรหัสแอสกีไปเป็นจุดที่เรียงกันเป็นตัวอักขระบนจอภาพนั้น จะต้องใช้ตารางการแปลงที่เรียกว่าคาแรกเตอร์เยนเนอเรเตอร์ ในการแสดงผลระบบเดิม เช่น การ์ดโมโนโครม ตารางการแปลงนี้จะเก็บอยู่ในหน่วยความจำที่เป็นชนิด ROM (อ่านได้อย่างเดียว) จึงไม่สามารถแก้ไขรูปแบบของอักขระได้โดยง่าย แต่ใน VGA หรือ EGA ตารางการแปลงนี้จะถูกโหลดลงในเพลนที่ 2 ของหน่วยความจำ (ซึ่งเป็นไดนามิคแรม) ทำให้สามารถแก้ไขรูปแบบตัวอักขระได้ง่าย ใน EGA จะมีตารางการแปลงนี้ได้ถึง 4 ชุด ส่วนใน VGA มีได้ถึง 8 ชุด แต่ละชุดเก็บได้ถึง 256 ตัว

มาตรฐานของตัวอักขระในตารางแปลงนี้ จะมีจำนวนจุด(pixel) ต่างกันไปขึ้นกับโหมดของการแสดงผล เช่น ในโหมด CGA (การ์ด VGA สามารถทำงานในโหมดที่มีความละเอียดต่ำกว่าได้) ตัวอักขระจะมีขนาด 8×8 (กว้าง×สูง) จุด ใน EGA จะเป็น 8×14 จุด และ 8×16 จุด สำหรับ VGA ค่าในตารางการแปลงนี้จะถูกโหลดลงใหม่ทุกครั้งโดยไบออสบนการ์ด เมื่อมีการเปลี่ยนโหมดของการทำงาน รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนของการทำให้เกิดตัวอักขระบนจอภาพ จากคุณสมบัติอันนี้ทำให้การพัฒนาภาษาไทยบนการ์ด VGA ค่อน-

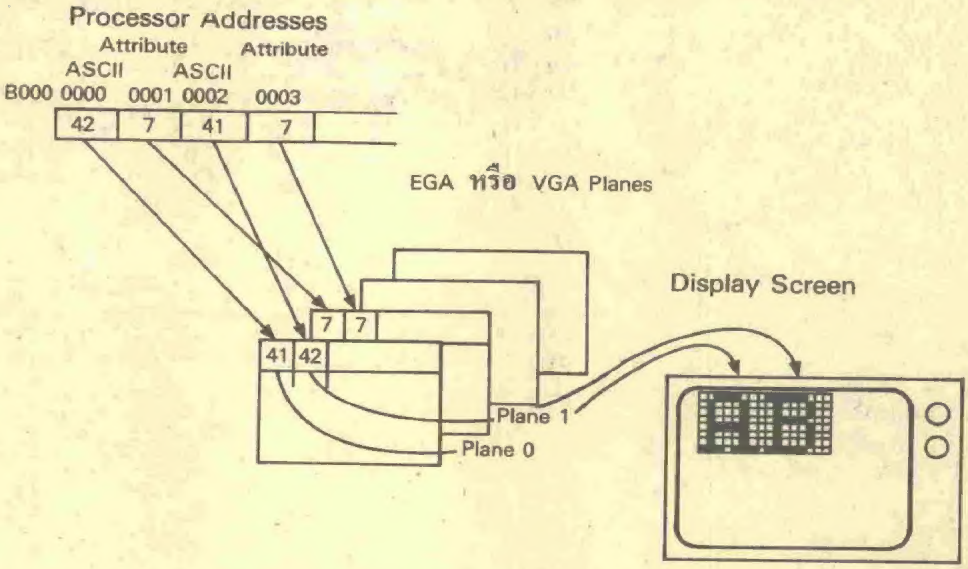


รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของการ์ด VGA

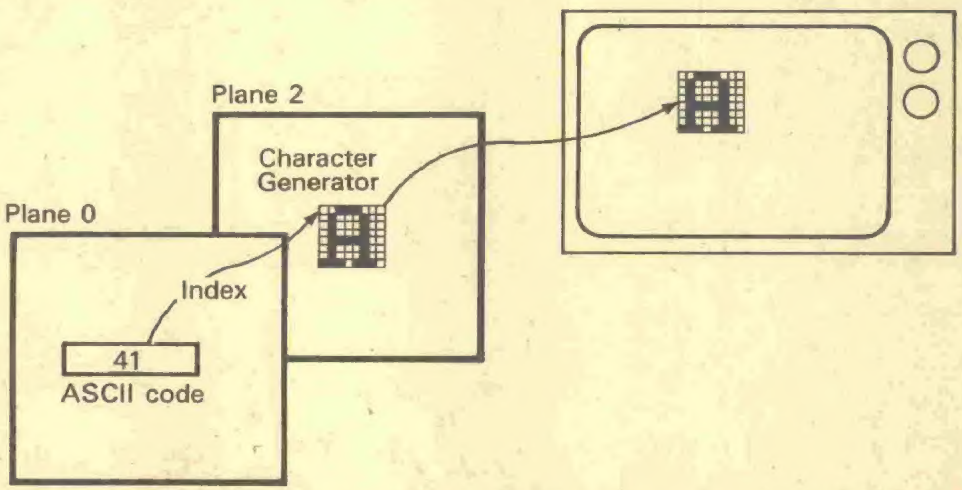
รูปที่ 2 (ก) รูปแบบการจัดหน่วยความจำในเท็กซ์โหมด



รูปที่ 2 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแอดเดรสกับเพลนของหน่วยความจำ



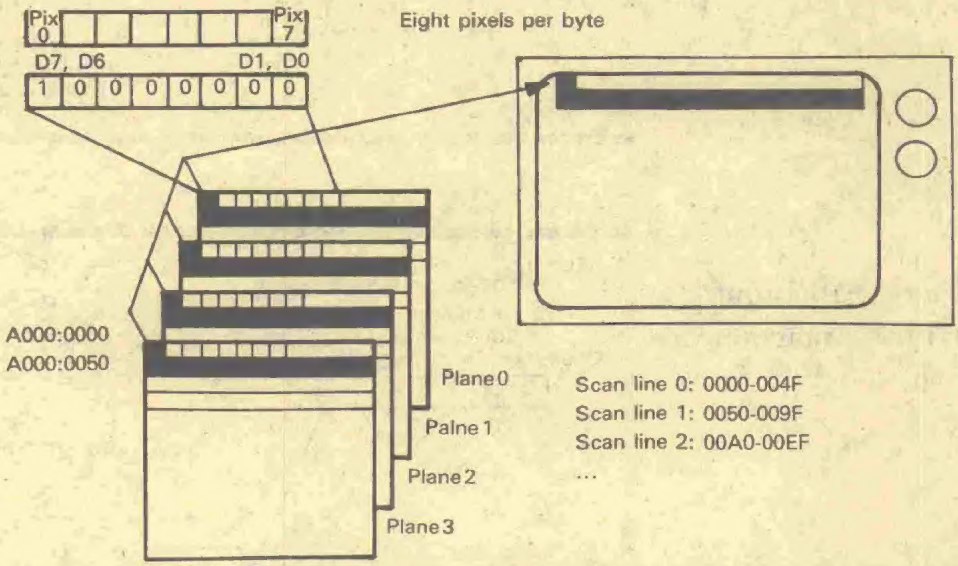
รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำให้เกิดตัวอักขระบนจอภาพ



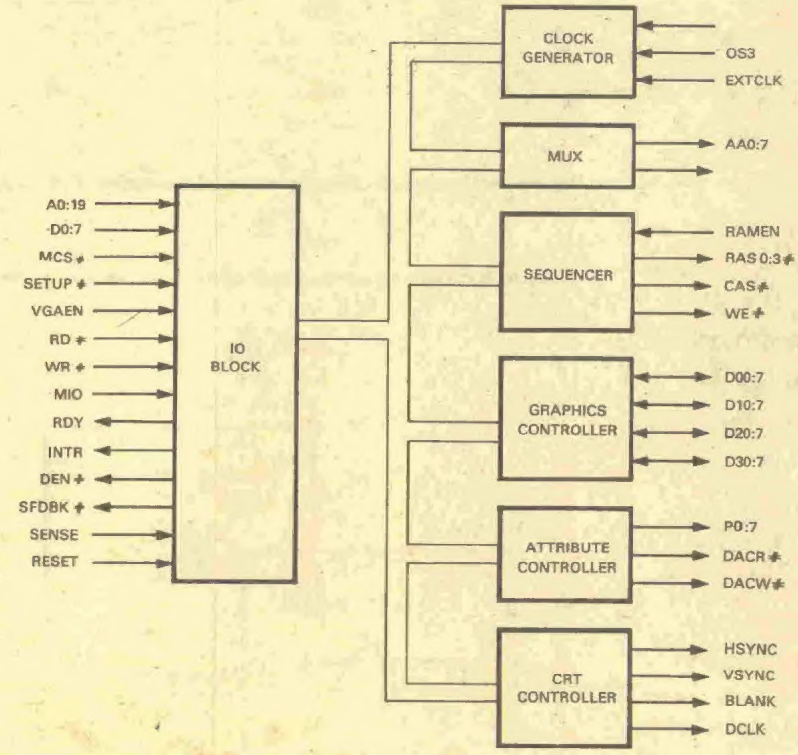
ข้างสะดวก เพราะไม่ต้องดัดแปลงการ์ดเลย แต่อย่างไรก็ตามต้องอาศัยความสามารถทางซอฟต์แวร์มากพอสมควรทีเดียว

หน่วยความจำในกราฟิกโหมด

ในโหมดของกราฟิก จุด ๆ หนึ่งบนจอภาพจะแทนด้วยข้อมูลที่มีจำนวนบิตต่าง ๆ กัน เช่น ในโหมด CGA 2 สี (mode 6) จะใช้ข้อมูล 1 บิตในการแสดงจุดหนึ่งจุด (8 จุดต่อไบต์) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงโหมด Enhanced Color



รูปที่ 4 รูปแบบการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับโหมดกราฟิก



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของชิพ VGA

Graphics (mode 10H) เท่านั้น ในโหมด 10H นี้เป็นที่นิยมสำหรับการใช้กับงานต่าง ๆ เพราะว่ามีความละเอียดสูงถึง 640×350 จุด และแสดงสีได้ 16 สีพร้อมกันในการแทนจุด ๆ หนึ่งบนจอภาพ จะใช้ข้อมูล 4 บิตโดยที่แต่ละบิตมาจากแต่ละเพลนของหน่วยความจำ รูปที่ 4 แสดงการจัดของหน่วยความจำ การแปลงจากตำแหน่งของจุด (pixel) บนจอภาพไปเป็นตำแหน่งของบิตในหน่วยความจำ โดยที่ x คือโคออร์ดิเนตตามแนวนอน ช่วงจาก 0-639 และ y เป็นโคออร์ดิเนตตามแนวตั้ง ช่วงจาก 0-349 จะแปลงได้โดยใช้สูตร

ตำแหน่งไบต์ที่= y*80+x/8

ตำแหน่งบิตที่ (0-7)= y−(x mod 8)

โดยที่ mod คือการหารที่เอาเฉพาะเศษ

ชิพ VGA

ระบบแสดงผลแบบ VGA มาตรฐานของไอบีเอ็มนั้นใช้ชิพ 82706 Video Graphic Array ซึ่งคอมแพตติเบิ้ลระดับไบออสกับระบบเดิมคือ EGA CGA และ MDA บล็อกไดอะแกรมของชิพ VGA แสดงดังรูปที่ 5

82706 VGA controller เป็นตัวอินเตอร์เฟสระหว่างซีพียู ซึ่งในที่นี้อาจจะเป็น 8088, 80286 หรือ 80386 กับหน่วยความจำของการแสดงผล(video memory) และเป็นตัวส่งข้อมูลของภาพไปยัง video DAC (Digital to Analog Converter) ทำการแปลงข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอะนาลอก เพื่อส่งให้จอแสดงผลต่อไป

การแอ็กเซสกับหน่วยความจำของการแสดงผลจะต้องผ่านตัว 82706 เสมอ ซึ่งมีข้อดีก็คือ ซีพียูสามารถแอ็กเซสกับหน่วยความจำขณะที่ทำการรีเฟรชหน่วยความจำ ซึ่งทำให้ซีพียูเขียนหรืออ่านจากหน่วยความจำได้โดยไม่จำเป็น

รูปที่ 6 ตารางแสดงรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ใน CRT CONTROLLER

Register Name	R/W	Index	Read Port	Write Port
CRT Controller Address	R/W		03?4	03?4
Horizontal Total	R/W	00	03?5	03?5
Horizontal Display Enable	R/W	01	03?5	03?5
Start Horizontal Blanking	R/W	02	03?5	03?5
End Horizontal Blanking	R/W	03	03?5	03?5
Start Horizontal Retrace Pulse	R/W	04	03?5	03?5
End Horizontal Retrace	R/W	05	03?5	03?5
Vertical Total	R/W	06	03?5	03?5
Overflow	R/W	07	03?5	03?5
Preset Row Scan	R/W	08	03?5	03?5
Maximum Scan Line	R/W	09	03?5	03?5
Cursor Start	R/W	0A	03?5	03?5
Cursor End	R/W	0B	03?5	03?5
Start Address High	R/W	0C	03?5	03?5
Start Address Low	R/W	0D	03?5	03?5
Cursor Location High	R/W	0E	03?5	03?5
Cursor Location Low	R/W	0F	03?5	03?5
Vertical Retrace Start	R/W	10	03?5	03?5
Vertical Retrace End	R/W	11	03?5	03?5
Vertical Display Enable End	R/W	12	03?5	03?5
Offset	R/W	13	03?5	03?5
Underline Location	R/W	14	03?5	03?5
Start Vertical Blank	R/W	15	03?5	03?5
End Vertical Blank	R/W	16	03?5	03?5
CRTC Mode Control	R/W	17	03?5	03?5
Line Compare	R/W	18	03?5	03?5

NOTES:
? = B in Monochrome Emulation Modes
? = D in Color Emulation Modes
All addresses are given in Hex

ต้องรอให้ถึงช่วงเวลาการรีเทรซ(retrace) ของจอภาพ

82706 ใช้กับหน่วยความจำได้ 256 กิโลไบต์ โดยสามารถโปรแกรมแอดเดรสเริ่มต้นได้ 3 ตำแหน่ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะขึ้นกับโหมดการแสดงผล จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ภายในชิพ 82706 จะมีตัวควบคุมการทำงานหลักอยู่ 4 ตัว คือ

CRT controller

ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของจอภาพ เช่น สัญญาณซิงก์ตามแนวนอน สัญญาณซิงก์ตามแนวตั้ง สัญญาณแบลังกิ้ง และแอดเดรสสำหรับการรีเฟรชหน่วยความจำควบ- CRT Controller มีรีจิสเตอร์ 25 ตัว ซึ่งมีบางตัวที่คอมแพตติเบิ้ลกับ 6845 CRT Controller ที่มีอยู่บนการ์ดแสดงผลแบบโมโนโครม รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ของ CRT Controller แสดงดังตารางในรูปที่ 6

Graphic Controller

เป็นตัวกลางเชื่อมทางเดินข้อมูลระหว่างหน่วยความจำของการแสดงผลกับตัวโปรเซสเซอร์หลัก และยังเป็นตัวเชื่อมระหว่างตัวโปรเซสเซอร์หลักกับแอดทริบิวต์คอนโทรลเลอร์ในสภาวะปกติ ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์จะสามารถถูกส่งไปยังหน่วยความจำ โดยทะลุกราฟิกคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง แต่ในกรณีอื่นกราฟิกคอนโทรลเลอร์มีฟังก์ชันช่วยในการวาดรูปกราฟิก โดยนำข้อมูลที่ผ่านตัวมันมากระทำฟังก์ชันทางลอจิก ก่อนที่จะเขียนลงไปยังหน่วยความจำ ภายในกราฟิกคอนโทรลเลอร์มีรีจิสเตอร์อยู่ 9 รีจิสเตอร์ ดังแสดงในตารางรูปที่ 7 ซึ่งสามารถสรุปการทำงานได้ดังรูปที่ 8 จากรูปจะเห็นว่ามีข้อมูลที่เรียกว่า Latched Data อยู่ 4 ไบต์ (แต่ละไบต์มาจากแต่ละเพลน) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ในที่ที่หนึ่ง ซึ่งจะเกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแสดงผล ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ (Processcer Data) จะผ่านการ ROTATE ซึ่งอาจจะเป็นการ ROTATE ตั้งแต่ 0 บิต (ไม่มีการ ROTATE) ถึง 7 บิต ทั้งนี้ขึ้นกับค่าในรีจิสเตอร์ Data Rotate (บิตที่ 0-2) จากนั้นจะถูกนำมากระทำฟังก์ชันทางลอจิก เช่น OR AND หรือ XOR กับ Latched Data การทำฟังก์ชันใดนั้นขึ้นกับค่าในรีจิสเตอร์ Data Rotate (บิตที่ 3-4) ฟังก์ชันทางลอจิกแสดงดังตารางรูปที่ 9

จากนั้นข้อมูลจะผ่านรีจิสเตอร์ 2 ตัวคือ SET/RESET และ SET/RESET ENABLE แต่ละรีจิสเตอร์จะใช้เพียง 4 บิต แต่ละบิตแทนแต่ละเพลน จากรูปบิตที่ 2 และที่ 3 ของรีจิสเตอร์ SET/RESET ENABLE เป็น 0 ดังนั้นข้อมูลเพลนที่ 2 และ 3 จะผ่านไปได้โดยตรง ส่วนบิตที่ 0 และ 1 มีค่าเป็น 1 ต้องพิจารณาในรีจิสเตอร์ SET/RESET เช่น บิตที่ 0 มีค่าเป็น 1 ดังนั้นเพลนที่ 0 จึงมีค่าเป็น 1 ทั้ง 8 บิต ส่วนบิตที่ 1 มีค่าเป็น 0 เพลนที่ 1 จึงมีค่าเป็น 0 ทั้ง 8 บิต จากนั้นข้อมูลจะผ่านรีจิสเตอร์ Bit Mask ถ้าค่าในรีจิสเตอร์เป็น 1 ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูล แต่ถ้าค่าในรีจิสเตอร์เป็น 0 ข้อมูลในบิตนั้น ๆ จะถูกนำมาจาก Latched Data แทนที่จะเป็นข้อมูลเดิม รีจิสเตอร์ Bit Mask เป็นรีจิสเตอร์สุดท้ายของกราฟิกคอนโทรลเลอร์ที่ทำให้ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง หลังจากนี้แล้วข้อมูลนี้ยังมิได้ถูกเขียนลงไปยังหน่วยความจำโดยตรง จะต้องผ่านตัวควบคุมอีกตัวหนึ่งเรียกว่า Sequencer ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ตัวอย่างของการกระทำฟังก์ชันทางลอจิกของกราฟิกคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 10 จากรูปจะเห็นว่าเดิมเรามีรูปร่างของ A และ B อยู่ เราสามารถทำให้เกิดรูปร่างอื่น ๆ ขึ้นได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการทำให้เกิดภาพต่าง ๆ ในโหมดกราฟิก

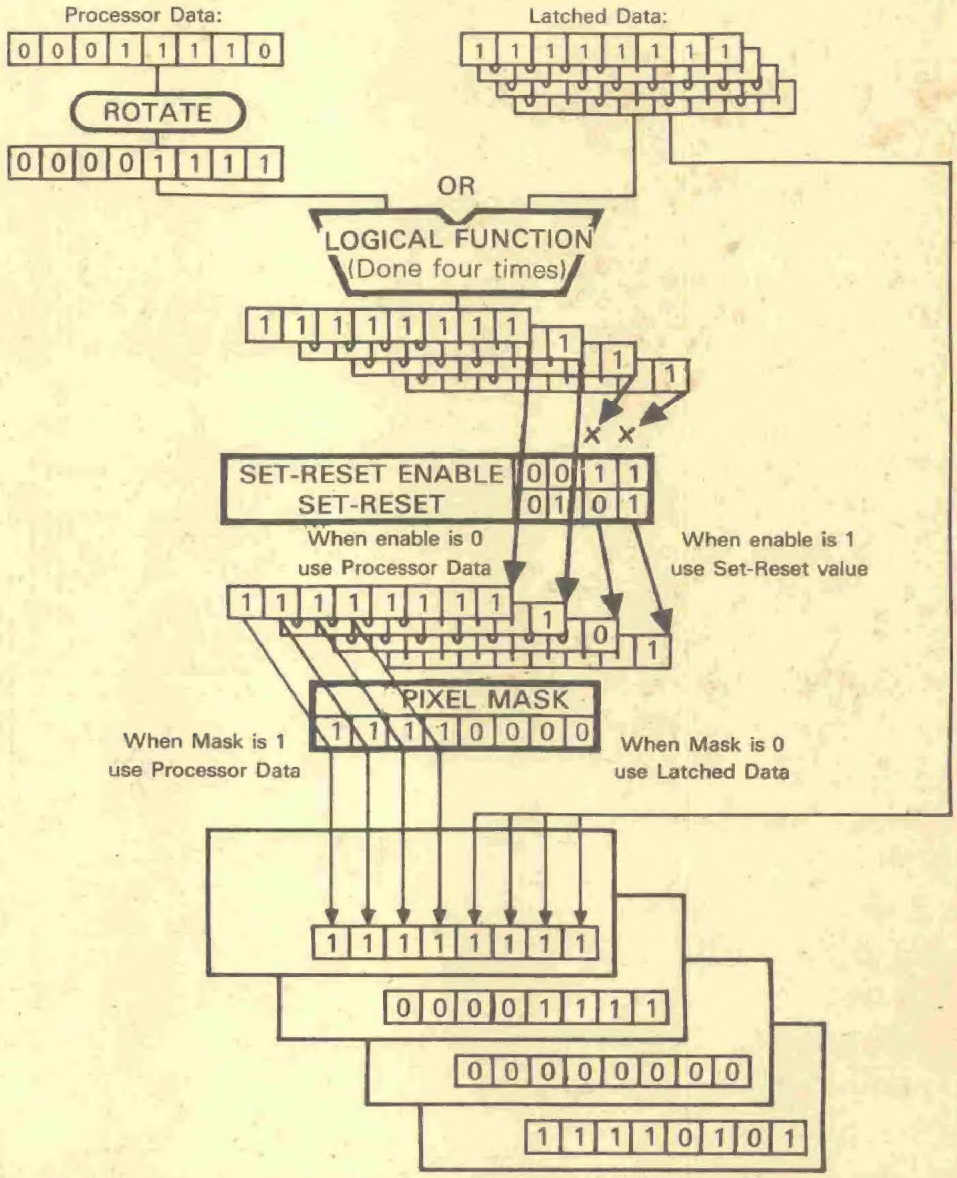
Sequencer

ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการรีเฟรชหน่วยความจำควบ-

รูปที่ 7 รีจิสเตอร์ในกราฟิกคอนโทรลเลอร์

Register Name	R/W	Index	Read Port	Write Port
Graphics Address	R/W		03CE	03CE
Set/Reset	R/W	00	03CE	03CE
Enable Set/Reset	R/W	01	03CE	03CE
Color Compare	R/W	02	03CE	03CE
Data Rotate	R/W	03	03CE	03CE
Read Map Select	R/W	04	03CE	03CE
Graphics Mode	R/W	05	03CE	03CE
Miscellaneous	R/W	06	03CE	03CE
Color Don't Care	R/W	07	03CE	03CE
Bit Mask	R/W	08	03CE	03CE

รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมของกราฟิกคอนโทรลเลอร์



คุมช่วงเวลาในการเขียนและอ่านกับหน่วยความจำ และยังมีวงจรลอจิกควบคุมการยอมหรือไม่ยอมให้โปรเซสเซอร์กระทำกับหน่วยความจำเพลนใดเพลนหนึ่ง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 11 และตารางที่ 12 แสดงรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ของ Sequencer จากรูปจะเห็นว่า ถ้าค่าในรีจิสเตอร์ Map mask (plane enable) เป็น 0 (D0 แทนเพลน 0) เพลนนั้นจะไม่สามารถถูกเปลี่ยนข้อมูลได้

Attribute Controller

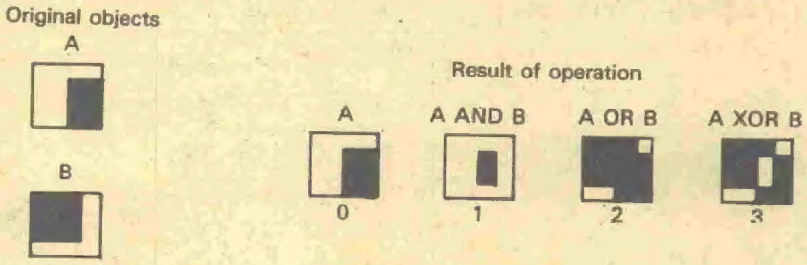
ทำหน้าที่ควบคุมแอตทริบิวต์ของการแสดงผล เช่น แอตทริบิวต์ที่เป็นสีต่าง ๆ แอตทริบิวต์ที่แสดงการกะพริบ (blinking) หรือการขีดเส้นใต้(underline) แอตทริบิวต์คอนโทรลเลอร์ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 20 รีจิสเตอร์ ดังแสดงในตารางรูปที่ 13 ในการกระทำ(เขียนหรืออ่าน) กับรีจิสเตอร์ของ VGA นั้นจะใช้คำสั่งที่กระทำกับพอร์ตคือ คำสั่ง

รูปที่ 9 ตารางแสดงฟังก์ชันลอจิก

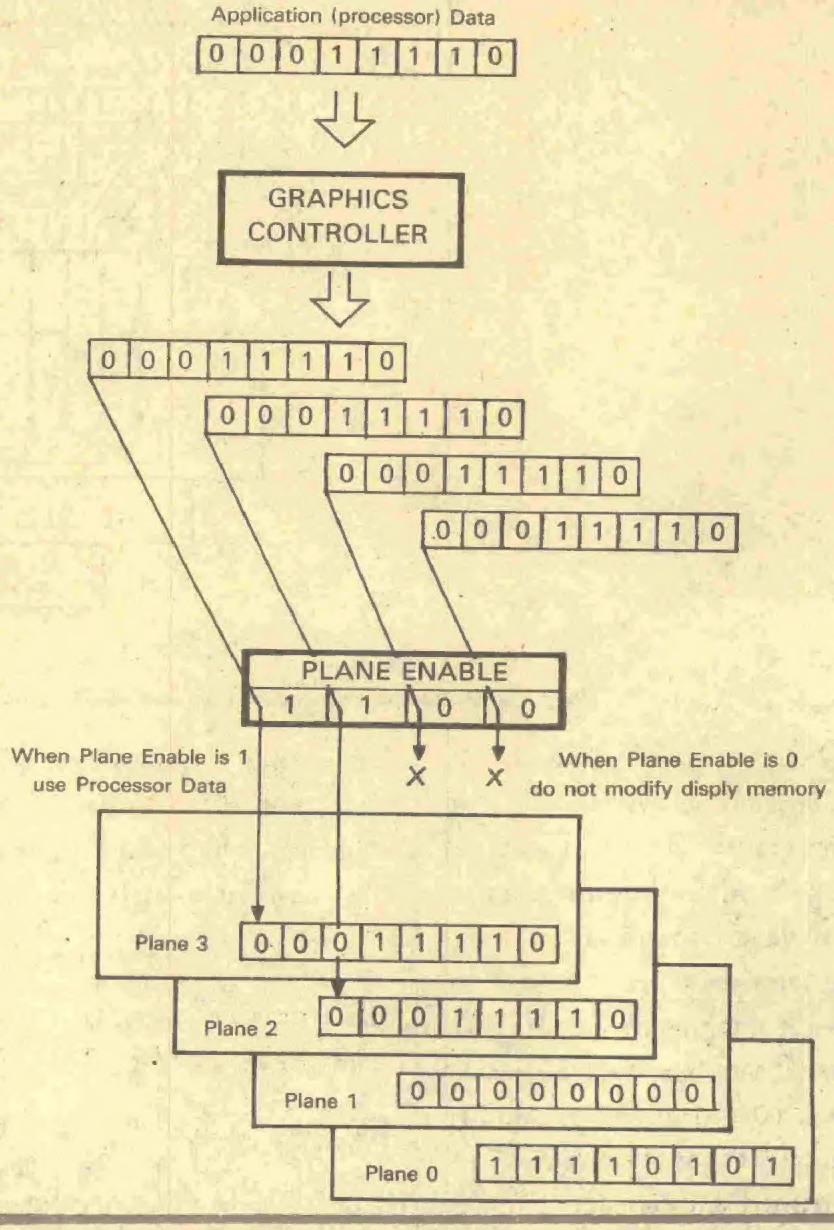
D_4	D_3	ฟังก์ชัน
0	0	ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ AND กับ Latched Data
1	0	ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ OR กับ Latched Data
1	1	ข้อมูลจากโปรเซสเซอร์ XOR กับ Latched Data

In หรือ Out แต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์จะมีแอดเดรสพอร์ตประจำแต่ละกลุ่ม เช่น กราฟิกคอนโทรลเลอร์จะมีแอดเดรสพอร์ตที่ 3CE เป็นอินเด็กซ์รีจิสเตอร์ และ 3CF เป็นดาต้ารีจิสเตอร์ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการ out ค่า 3EH (ฐานสิบหก) ไปที่รีจิสเตอร์ Data Rotate ก็ทำได้โดย out ค่า 03 ไปที่พอร์ต 3CE (03 เป็นอินเด็กซ์ของ Data Rotate) จากนั้นจึง out ค่า 3EH ไปที่พอร์ต 3CF สำหรับรีจิสเตอร์อื่นก็ทำนองเดียวกัน แต่สำหรับแอตทริบิวต์คอนโทรลเลอร์ซึ่งมีพอร์ตสำหรับการเขียนอยู่แอดเดรสเดียวกัน ไซเกิลของการเขียนจะทำให้มีการเปลี่ยนไปมาระหว่างอินเด็กซ์รีจิสเตอร์กับดาต้ารีจิสเตอร์ ซึ่งจะสามารถเริ่มต้นได้ด้วยคำสั่ง In ที่พอร์ต 3DA หลังจากนั้นคำสั่งแรกที่ out ไปที่พอร์ต 3C0 จะถูกส่งไปที่อินเด็กซ์รีจิสเตอร์ และคำสั่ง out คำสั่งต่อไปจะถูกส่งไปที่ดาต้ารีจิสเตอร์

ส่วนสำคัญของแอตทริบิวต์คอนโทรลเลอร์อยู่ที่ตารางค้นหาสี (Color look-up table) ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูลขนาด 4 บิตที่เก็บในหน่วยความจำของการแสดงผลไปเป็นข้อมูลของสีขนาด 6 บิต ซึ่งจะรวมกับข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Color Select อีก 2 บิต รวมเป็น 8 บิต ที่จะส่งให้กับ Video DAC ต่อไป แต่สำหรับ EGA ข้อมูลสี 6 บิตจะถูกส่งไปยังจอแสดงผลโดยตรง ซึ่งมีข้อแตกต่างระหว่างโหมดตัวอักษร (TEXT MODE) กับโหมดกราฟิก รูปที่ 14 แสดงตารางการค้นหาสีของแอตทริบิวต์คอนโทรลเลอร์ในรูป (ก) นั้นเป็นการแสดงในโหมดกราฟิก ค่าของสีจุด ๆ หนึ่ง (pixel) มีค่าเป็น 0111 (เท่ากับ 7) ค่าของสีนี้จะถูกใช้เป็นแอดเดรสชี้ไปรีจิสเตอร์ที่ 7 ของตารางค้นหาสี ซึ่งภายในมีค่าเป็น 001001 บิตที่ 0 และบิตที่ 3 แทนสีฟ้าที่มีความเข้มแตกต่าง



รูปที่ 10 การกระทำฟังก์ชันทางลอจิกระหว่างข้อมูล 2 ข้อมูล



รูปที่ 11 การทำงานของรีจิสเตอร์ Map mask (plane enable)

กัน ดังนั้นจุดของภาพ(pixel) จุดแรกจึงมีสีฟ้า ส่วนจุดต่อไปมีค่าเป็น 0000 ซึ่งชี้ไปที่รีจิสเตอร์ 0 และค่าภายในเป็น 0 ดังนั้นจุด (pixel) นี้จึงเป็นสีดำ ในรูปที่ 14 (ข) เป็นการแสดงในโหมดตัวอักขระ จะเห็นว่าเพลน 0 เก็บค่า 41 ซึ่งเป็นรหัสแอสกีของตัวอักษร A เพลน 1 เก็บค่า 07 ซึ่งเป็นแอตทริบิวต์ของตัวอักษร A 4 บิตบนของแอตทริบิวต์เป็นตัวกำหนดสีของแบคกราวนด์ และ 4 บิตล่างเป็นตัวกำหนดสีของโฟร์กราวนด์

VGA VIDEO DAC

ส่วนประกอบหลักตัวสุดท้ายของระบบแสดงผล VGA นี้ก็คือ VIDEO DAC (Digital to Analog Converter) ตัวแปลงข้อมูลดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอะนาลอกเพื่อขับจอแสดงผล ไอบีเอ็มใช้ VIDEO DAC ของบริษัท Inmos เบอร์ IMSG-171 ภายในประกอบด้วยตัวแปลงสัญญาณ 3 ชุด สำหรับ 3 สี

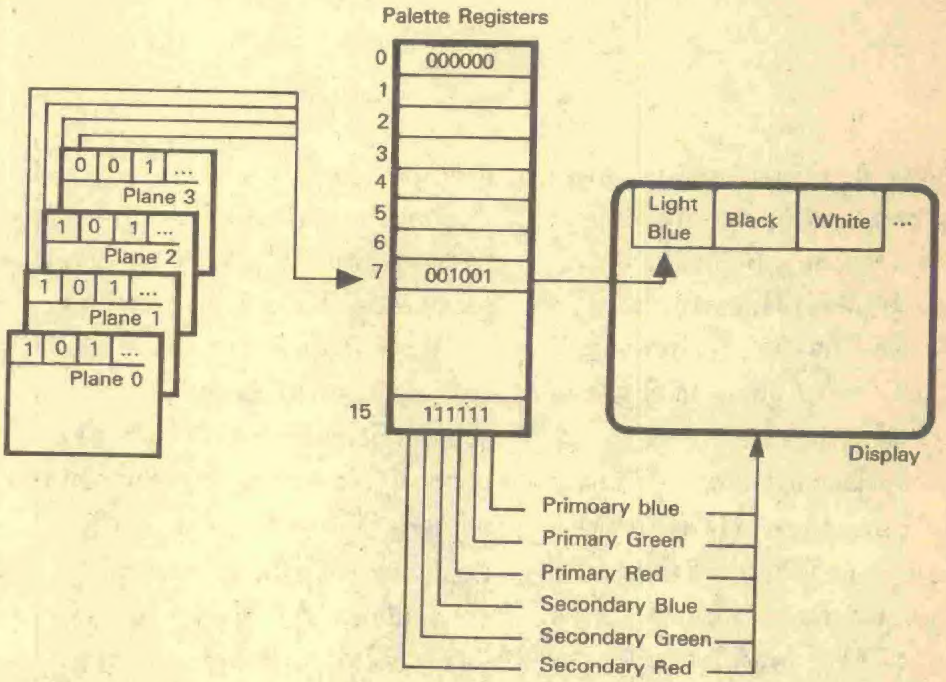
รูปที่ 12 ตารางแสดงรีจิสเตอร์ใน SEQUENCER

Register Name	R/W	Index	Read Port	Write Port
Sequencer Address	R/W		03C4	03C4
Reset	R/W	00	03C5	03C5
Clocking Mode	R/W	01	03C5	03C5
Map Mask	R/W	02	03C5	03C5
Character Map Select	R/W	03	03C5	03C5
Memory Mode	R/W	04	03C5	03C5

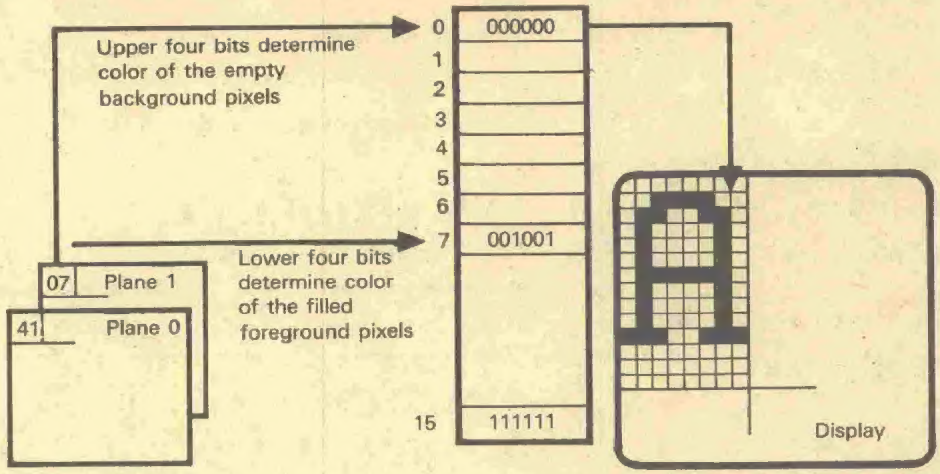
รูปที่ 13 ตารางแสดงรีจิสเตอร์ในแอตทริบิวต์คอลโทรลเลอร์

Register Name	R/W	Index	Read Port	Write Port
Address	R/W		03C0	03C0
Palette Registers	R/W	00-0F	03C1	03C0
Attribute Mode Control	R/W	10	03C1	03C0
Overscan Color	R/W	11	03C1	03C0
Color Plane Enble	R/W	12	03C1	03C0
Horizontal PEL Panning	R/W	13	03C1	03C0
Color Select	R/W	14	03C1	03C0

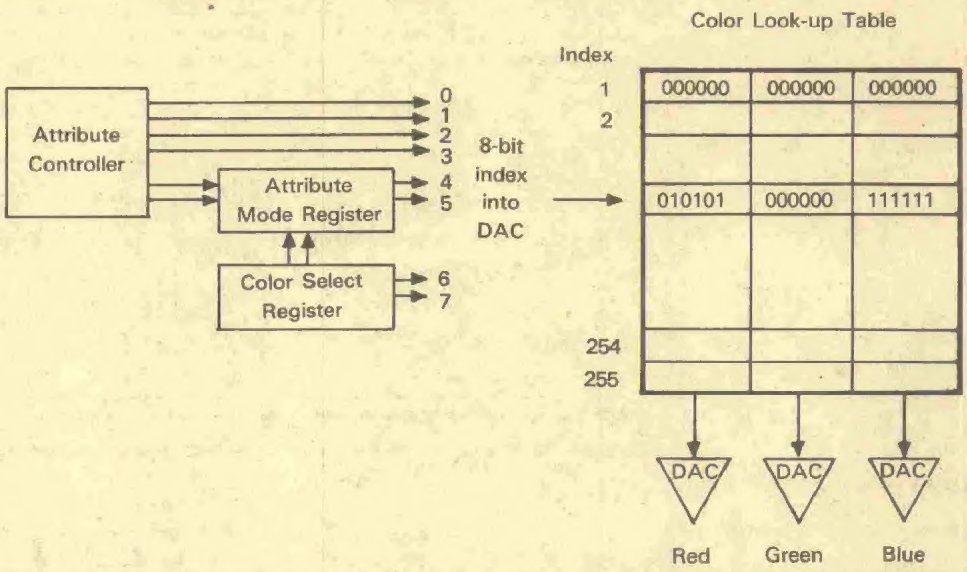
รูปที่ 14 (ก) แสดงการแปลงข้อมูลจากหน่วยความจำไปเป็นรูป (จุด) ในโหมดกราฟิก



รูปที่ 14 (ข) การแปลงจากรหัสไปเป็นตัวอักขระพร้อมทั้งแอตทริบิวต์



รูปที่ 15 แสดงตารางการแปลงข้อมูลสีของ DAC



คือ แดง เขียว น้ำเงิน และตารางค้นหาสี (Color Look-up Table) ที่รับข้อมูลขนาด 8 บิตจากแอตทริบิวต์คอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวชี้รีสจิสเตอร์ขนาด 18 บิต 1 ใน 256 รีจิสเตอร์ เพื่อเลือกข้อมูลที่จะนำไปแปลงเป็นสัญญาณอะนาลอก ดังแสดงในรูปที่ 15

จากรีจิสเตอร์จำนวน 256 รีจิสเตอร์ ทำให้สามารถแสดงสีได้พร้อม 256 สี แต่ภายใน 1 รีจิสเตอร์ ซึ่งมีขนาด 18 บิตจะมีสีต่างกันได้ทั้งสิ้น 2^{18} = 256K สี และนี่คือเหตุผลที่ว่าระบบ VGA สามารถแสดงสีได้ 256 สีพร้อมกัน จากจำนวนสีทั้งสิ้น 256 K สี

ที่กล่าวมาทั้งหมดคือโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของการ์ด VGA จะเห็นว่าภายใน VGA มีรีจิสเตอร์ต่าง ๆ มากมาย ซึ่งแต่ละตัวก็มีหน้าที่แตกต่างกันไป การที่จะแก้ไขค่าในรีจิสเตอร์นั้น ควรที่จะศึกษาดูก่อนว่ารีจิสเตอร์ตัวนั้นถ้าแก้ไขแล้วจะทำให้เกิดความเสียหายหรือไม่ อย่างเช่น รีจิสเตอร์บางตัวของ CRT Controller ถ้ามีค่าไม่เหมาะสมจะทำให้จอภาพเสียหายได้ การใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ของการ์ด VGA นอกจากการกระทำกับรีจิสเตอร์โดยตรงแล้ว สามารถทำได้โดยเรียกใช้บริการของรอมไบออสบนการ์ด ฟังก์ชันเหล่านี้ได้แก่ เซตโหมดของการแสดงผล อ่านโหมดของการแสดงผล เซตพาร์เล็ตรีจิสเตอร์ โหลดค่าลงในตารางแปลงตัวอักขระ เป็นต้น ซึ่งจะได้ยกตัวอย่างในการใช้งานบางฟังก์ชันต่อไป